

А.И. Грабченко, д-р техн. наук, И.Н. Пыжов, д-р техн. наук, Харьков,
В.Г. Клименко, Полтава, Украина

РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ПЛОСКОГО ТОРЦОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Розглянуті питання, пов'язані з перспективою розширення технологічних можливостей процесів плоского торцевого шліфування за рахунок інтенсифікації прокачування МОТС через зони шліфування і правки круга. Запропоновані ефективні способи шліфування, що дозволяють вирішити поставлену задачу.

Рассмотрены вопросы, связанные с перспективой расширения технологических возможностей процессов плоского торцевого шлифования за счет интенсификации прокачки СОТС через зоны шлифования и правки круга. Предложены эффективные способы шлифования, позволяющие решить поставленную задачу.

Questions, related to the prospect of expansion of technological possibilities of processes of the flat cutoff polishing due to intensification of SOTS through the areas of polishing and correction of circle, are considered. Effective methods are offered polishing, allowing to decide set the problem.

1. Постановка проблемы. Многоместная обработка продолжает иметь важное значение в механообработке. При этом чистовые процессы обработки выполняются, как правило, на плоскошлифовальных станках с продольным или круговым (вращательным) движениями стола. При этом используются в основном периферийные абразивные или алмазные круги. Линейный характер контакта в зоне резания предопределяет высокие удельные нагрузки и тем самым способствует интенсификации процесса самозатачивания при значительных величинах удельного расхода абразивно-алмазных материалов. При обработке хрупких материалов это приводит к повышенному уровню брака из-за сколов и растрескивания. Перспективность данного вида работ подтверждается тем, что в настоящее время около 20% деталей машиностроения имеют плоские поверхности, и они подлежат окончательной обработке на плоскошлифовальных станках [1]. Учитывая изложенные выше соображения, в качестве объекта для исследований были выбраны процессы плоского торцевого шлифования. Они реализуются на заточных, а также плоскошлифовальных станках с вертикальным расположением шпинделя и имеют ряд существенных преимуществ перед процессами шлифования, основанными на использовании периферийных кругов и, особенно при обработке хрупких материалов.

2. Анализ последних исследований и публикаций. Уже имеется достаточное количество публикаций, подтверждающих эффективность плоского торцевого шлифования применительно к обработке хрупких материалов (на-

пример, изделий из керамики, сверхтвердых поликристаллов и др. [2], [3], [4], [5], [6]).

Среди основных достоинств такого процесса применительно к станкам с вертикальным расположением шпинделя [3] выделим те из них, которые особенно важны с точки зрения решаемых задач:

- уменьшение процента брака по сколам и трещинам за счет равномерного распределения давления в зоне контакта круга с заготовкой;
- существенное упрощение процесса закрепления заготовок (например, путем использования сепараторов);
- возможность их многоместной параллельной обработки;
- экологический аспект и др.

В последнем случае имеется ввиду, что в рассматриваемых процессах не только значительно снижается интенсивность разбрызгивания СОТС, но и упрощается реализация мер по защите работающего персонала.

Практикой использования установлены существенные перспективы использования процесса плоского торцового шлифования применительно к формообразованию изделий из труднообрабатываемых (в том числе и сверхтвердых) материалов [7] с использованием токопроводящих алмазных кругов. Для его широкого внедрения в производство необходимо решение двух основных задач. Во-первых, это разработка рациональных конструкций автономных правящих устройств и особенно применительно к обработке диэлектрических материалов. При этом следует исходить из того, что применение автономного катодного устройства, занимающего часть рабочей поверхности круга (РПК) весьма нежелательно т.к. как это неизбежно ведет к снижению технологических возможностей процесса шлифования. Во-вторых, создание условий для устойчивого протекания процесса управляющего воздействия на связь токопроводящего круга в зоне правки.

3. Цель исследования. Целью исследования является анализ существующих разработок, выполненных применительно к процессам плоского торцового шлифования, с точки зрения областей их эффективного применения, а также разработка предложений по расширению их технологических возможностей.

4. Основные материалы исследований.

Одним из принципиальнейших вопросов при практической реализации процесса плоского шлифования является охлаждение зоны обработки. В последние годы его острота возросла в связи с тем, что одной из наиболее важных задач в направлении практической реализации нанотехнологий есть технология обработки наноматериалов. Сегодня специалисты считают, что нанотехнологии - это абсолютно реально направление технического прогресса, дело ближайшего будущего, в том числе и для производства [8]. Наноматериалы уже применяются в атомной, автомобилестроительной и других областях машиностроения. Известно, что нано – и микрокристаллические металлы

отличаются существенной нестабильностью зеренной структуры. При нагреве металла происходят сложные структурные изменения, связанные с развитием процессов возврата, рекристаллизации, и, как следствие, рост зерна и потерю уникальных физико-механических свойств. Интенсивность этого процесса, приводящего к росту зерен, определяется степенью и временами температурного воздействия и др. Поэтому наметившаяся тенденция, связанная с производством уникальных станков для высокоточной обработки металлов и наноматериалов с использованием принципа электрохимии, основным преимуществом которого является полное отсутствие механического или теплового действия на обрабатываемый материал, является достаточно перспективной [8]. Но это совсем не исключает необходимость применения механических технологий, которые продолжают быть основными в плане получения высоких показателей размерной точности и качества обрабатываемых поверхностей. Особенно это касается процессов шлифования. К сожалению, именно процессы шлифования отличаются высокими показателями температуры в зоне обработки. Именно поэтому задача разработки и исследования низкотемпературных методов шлифования приобретает особенную важность и актуальность.

Из известных способов подачи СОТС при плоском торцовом шлифовании на станках с вертикальным расположением шпинделя широкое распространение получили два. Наиболее универсальным и менее эффективным из них следует считать метод полива перед фронтом шлифовального круга [9]. Он применяется в основном для станков, у которых отсутствует полый шпиндель.

Подача СОТС через полый шпиндель станка является более эффективным вариантом, поскольку СОТС, попадая во внутреннюю полость круга, под действием центробежных сил подается в зону обработки. С силой, пропорциональной квадрату окружной скорости круга, она прокачивается через зону шлифования, создавая охлаждающее и вымывающее действие [3], [4], [14], [15]. Кроме этого струи воды ударяются о стенки оградительного кожуха и разбиваются на мельчайшие брызги, благодаря чему создается вторичное охлаждающее действие подаваемой таким способом СОТС. Основным недостатком этого способа следует считать существующее противоречие между интенсивностью подачи СОТС, возможностью его прокачки через зону обработки и наличием эффективных средств защиты от разбрызгивания. Рассмотренный способ реализован, например, на станках мод. 3Е756 с круговым движением стола.

На рисунках 1-4 приведены предложенные нами различные способы подачи СОТС при практической реализации процесса плоского торцового шлифования на станках с вертикальным расположением шпинделя.

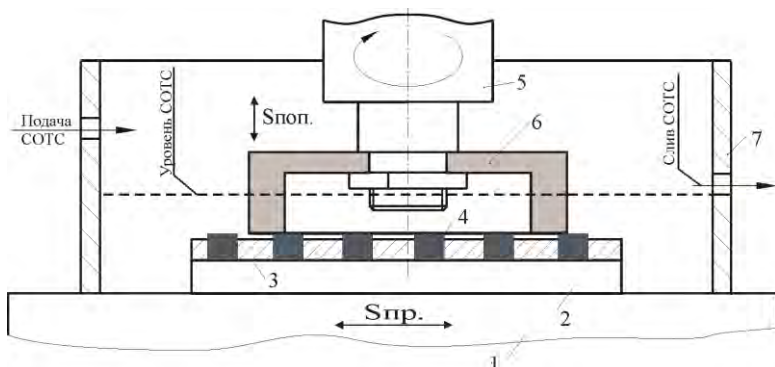


Рисунок 1 – Схема плоского торцового шлифования с подачей СОТС в ванну
1-стол станка; 2-магнитная плита; 3-сепаратор; 4-обрабатываемый материал; 5-шпиндель; 6-круг; 7-ванна.

Как показывает опыт использования процесса плоского торцового шлифования на станках с вертикальным шпинделем, для эффективной защиты от разбрызгивания СОТС с одной стороны и исключения возможного перегрева детали в случае прекращения ее поступления по какой-либо причине с другой стороны обработку следует производить в специальной ванне (рис. 1). Последняя имеет соответствующие отверстия для подачи и слива СОТС, расположенные, как правило, на разных уровнях по высоте ванны. Несмотря на то, что РПК и деталь находятся в сплошном слое СОТС эффективность охлаждения зоны шлифования все же низка. Это объясняется тем, что воздушный поток, создаваемый кругом, препятствует попаданию СОТС в зону обработки.

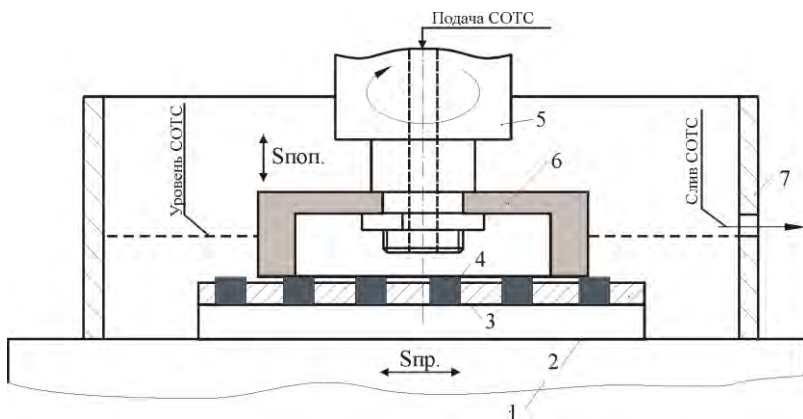


Рисунок 2 – Схема плоского торцового шлифования с подачей СОТС в ванну и внутреннюю полость круга через полый шпиндель
1-стол станка; 2-магнитная плита; 3-сепаратор; 4-обрабатываемый материал; 5-шпиндель; 6-круг; 7-ванна.

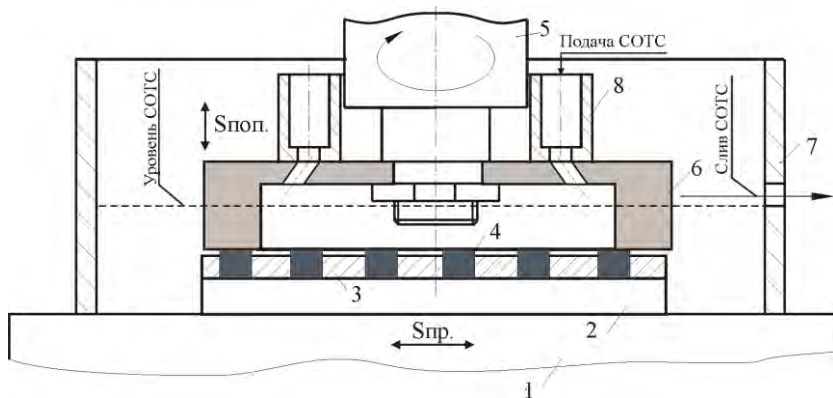


Рисунок 3 – Схема плоского торцевого шлифования с подачей СОТС в ванну и внутреннюю полость круга через пазы в круге
1-стол станка; 2-магнитная плита; 3-сепаратор; 4-обрабатываемый материал; 5-шпиндель; 6-круг; 7-ванна; 8-стакан.

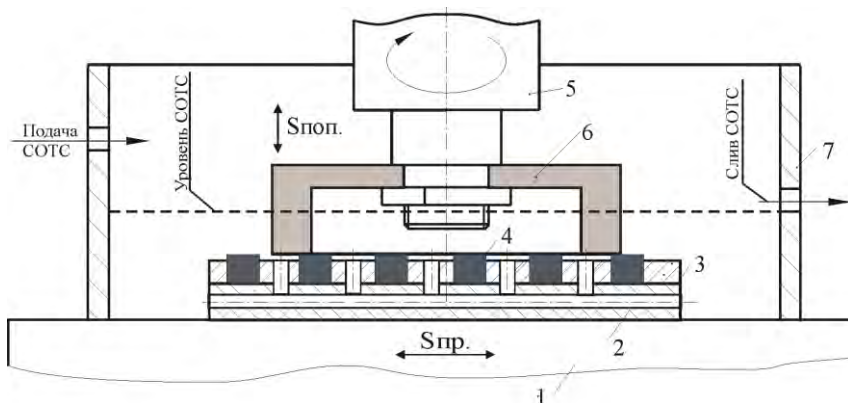


Рисунок 4 – Схема плоского торцевого шлифования с подачей СОТС во внутреннюю полость круга по методу сообщающихся сосудов
1-стол станка; 2-специальная плита; 3-сепаратор; 4-обрабатываемый материал; 5-шпиндель; 6-круг; 7-ванна.

Следовательно, использование ванны, заполненной СОТС, само по себе еще не решает проблемы устойчивого и эффективного охлаждения зоны шлифования. Для этого необходимо выполнение еще одного условия – создания возможности попадания жидкости во внутреннюю полость круга.

На рис. 2 приведен случай, когда СОТС подается во внутреннюю полость круга (а затем и в ванну) через полый шпиндель. Главным недостатком его следует считать то, что далеко не все станки имеют полый шпиндель. Од-

ним из вариантов устранения данного недостатка является подача охлаждающей жидкости под давлением при помощи специальной насадки [3]. Еще одним из аналогичных вариантов можно считать предложенный нами способ подачи СОТС во внутреннюю полость круга через пазы (отверстия) в его торце [7]. Для этих целей была предложена конструкция сборного торцового круга, которая практически может быть реализована как применительно к алмазным, так и обычным абразивным кругам (рис. 3). Такие круги достаточно хорошо зарекомендовали себя на практике, однако имеют существенный недостаток, связанный с невозможностью подачи СОТС во внутреннюю полость круга под давлением, т.е. имеют определенные ограничения по интенсивности подачи СОТС. А это (как будет показано ниже) может ограничивать технологические возможности процесса шлифования.

Таким образом, существенным недостатком рассмотренных выше способов подачи СОТС является их зависимость от технических факторов, к которым в первую очередь следует отнести и реальную производительность водяной помпы. А это может негативно отразиться на реализации технологической устойчивости. Поэтому с целью гарантированного обеспечения стабильности и эффективности охлаждения в процессе торцового шлифования на станках с вертикальным расположением шпинделя был предложен более универсальный, простой в реализации и эффективный по значениям выходных показателей способ подачи СОТС во внутреннюю полость круга, основанный на реализации известного принципа сообщающихся сосудов (рис. 4). Согласно этому способу на столе 1 плоскошлифовального станка с вертикальным шпинделем установлена ванна 7, которая определяет рабочую зону станка. На столе станка закреплена специальная плита 2. Она имеет систему пазов (отверстий) с которыми сообщаются отверстия, выполненные в сепараторе 3 в котором размещены обрабатываемые детали. Для улучшения прокачки СОТС через зону шлифования во внутренней полости круга может быть дополнительно установлена специальная крыльчатка, которая вращается вместе с ним. Процесс подачи СОТС в зону резания осуществляется следующим образом. В ванную постоянно нагнетается СОТС до определенного уровня, который обеспечивается расположением сливного отверстия по высоте ванны. Эта СОТС из ванны через пазы и отверстия попадает во внутреннюю полость круга по принципу сообщающихся сосудов, а затем захватывается крыльчаткой и (или) кругом и направляется в зону резания, откуда опять возвращается в общую полость ванны. Поскольку круг находится в слое СОТС, то разбрызгивание последней сводится к минимуму. В случае непредвиденного прекращения подачи СОТС процесс охлаждения может эффективно продолжаться достаточно продолжительное время за счет того количества охлаждающей жидкости, которое находится в ванной. Это гарантированно исключает брак изделий из-за негативного действия температурного фактора.

Известно, что температурный фактор имеет существенное значение и в случае правки абразивных кругов алмазными карандашами. Согласно ГОСТ 607-80 в этом случае рекомендуется использовать обильную подачу СОТС (не менее чем 20л/мин.). Наиболее эффективно это требование можно выполнить применительно к правке торцовых кругов на станках с вертикальным шпинделем и, особенно в случае использования способа подачи СОТС во внутреннюю полость круга по принципу сообщающихся сосудов (рис. 5). Как видно из рисунка, алмазный карандаш 8 устанавливается таким образом, чтобы его рабочая поверхность находилась в сплошном слое СОТС. Уровень СОТС в ванне должен быть выше уровня РПК. Установлено, что если в карандашах использовать CVD-алмазы, которые имеют высокие значения микротвердости (до 9000 НВ) и теплопроводности (до 2200 Вт/(м·К)) по сравнению с синтетическими поликристаллическими алмазами, полученными по другим технологиям, то уровень их удельной производительности приближается к уровню карандашей из естественных алмазов. В целом использование предложенного способа правки позволяет повысить общий срок службы алмазных карандашей на 15-20%.

Лабораторные исследования и промышленные испытания показали, что рассмотренные выше способы подачи СОТС могут с успехом применяться и в комбинированном процессе плоского торцового шлифования [7]. На рис. 6 представлена принципиальная схема способа, в котором впервые в качестве правящего устройства предложено выполнять правящий катод в виде перфорированного элемента, перфорации которого расположены над зажимными элементами для размещения в них заготовок. Другими словами автономным правящим катодом служит свободная от обрабатываемых изделий часть приспособления (в данном случае сепаратора). Перфорированная пластина (сепаратор 3) установлена на магнитной плите 2 станка и подключена к отрицательному полюсу источника постоянного тока. Алмазный круг 6 соединен при этом с положительным полюсом источника питания.

Здесь в качестве СОТС выступает электролит. Достаточно хорошо на практике зарекомендовал себя электролит следующего состава: 3% NaNO_3 , 0,5% NaNO_2 , остальное вода.

Как видно из рисунка, обрабатываемые заготовки 4 устанавливаются с определенным вылетом над сепаратором-катодом, который определяет величину межэлектродного зазора (МЭЗ) Δ . Столу станка 1 сообщается движение рабочей подачи, а кругу 6 - вращательное движение.

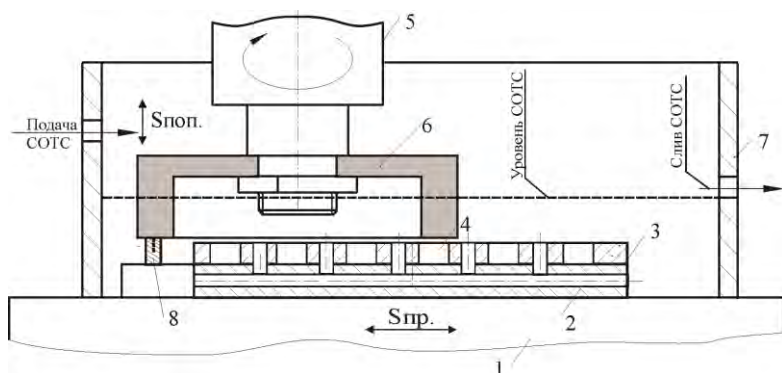


Рисунок 5 – Схема правки абразивного круга методов точения
1-стол станка; 2-плита специальная; 3-сепаратор; 4-обрабатываемый материал; 5-шпиндель; 6-круг; 7-ванна; 8-карандаш алмазный.

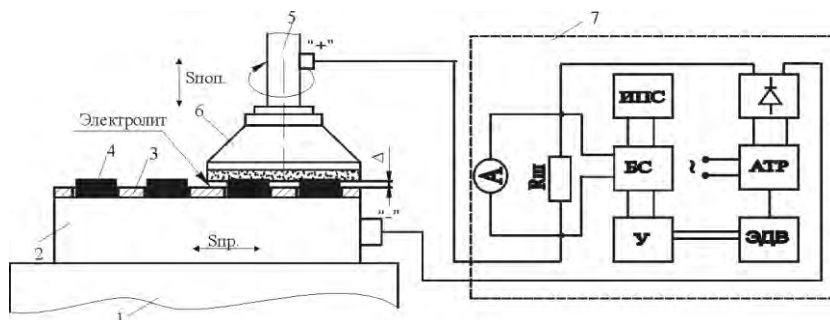


Рисунок 6 – Схема плоского торцевого шлифования с автономной электрохимической правкой РПК токопроводящих алмазных кругов
1-стол станка; 2-специальная плита; 3-сепаратор-катод; 4-обрабатываемый материал; 5-шпиндель; 6-круг; 7-изолятор; 8-блок автоматики.

После подачи электролита в межэлектродный зазор (а, следовательно, и в зону обработки) электрическая цепь замыкается и производится управление РПК за счет дозированного электрохимического растворения металлической связи круга. С точки зрения обеспечения технологической устойчивости многоместная обработка изделий является наиболее проблемной задачей, т.к. из-за большой площади их контакта с рабочей поверхностью круга режущий рельеф последнего чрезвычайно быстро изнашивается и сглаживается, что может привести к резкому увеличению силовой и тепловой напряженности процесса шлифования. В связи с этим особое внимание следует уделить возможности поддержания в данных условиях заданной величины плотности технологического тока в цепи правки круга в автоматическом режиме т.к. от этого всецело зависит стабильность процесса шлифования. Особенно это актуально при многоместной обработке.

Как известно, автоматическая система может решать следующие задачи[16]:

1. Поддерживать выходной сигнал объекта на одном и том же постоянном уровне (стабилизирующая автоматическая система).
2. Изменять управляемый сигнал в соответствии с заранее заданной функцией времени (программная автоматическая система).
3. Изменять управляемый сигнал в зависимости от неизвестного заранее переменного задающего воздействия (следающая автоматическая система).

В нашем случае используется стабилизирующая автоматическая система. В известных способах правки с подвижным автономным катодом регулирование силы тока в цепи управления осуществляется за счет изменения величины зазора Δ путем перемещения автономного катода по направляющим в направлении перпендикулярном рабочей поверхности круга [2]. Применительно к разработанному процессу плоского шлифования такая возможность отсутствует, поскольку величина зазора Δ определяется вылетом заготовок над поверхностью катода-сепаратора. По мере снятия с них припуска МЭЗ Δ уменьшается, что неизменно приводит к росту плотности технологического тока, т.е. к нарушению условий процесса управления, а, следовательно, и шлифования. Как уже отмечалось выше, использование автономного подвижного катода в данном случае нецелесообразно, поскольку он занимает определенную часть РПК, требует создания специальных приспособлений и т.д., т.е. существенно снижает технологические возможности процесса шлифования.

В данном случае наиболее удобно осуществлять изменение силы тока в цепи управления за счет регулировки величины технологического напряжения U . При этом в качестве ограничительных факторов выступают допустимая величина этого напряжения ($U < 36$ В) и рабочая зона значений МЭЗ ($\Delta \leq 1,0$ мм). При значениях Δ больше рекомендуемых процесс протекает неэффективно ввиду весьма низких величин плотности технологического тока, а, следовательно, и интенсивности удаления связки круга.

В нашем случае может использоваться та же самая стабилизирующая автоматическая система, что и в случае регулирования силы тока изменением величины МЭЗ. Различие состоит лишь в том, что реверсивный электродвигатель управляет не перемещением катода (поскольку отсутствует возможность изменять силу тока в цепи управления за счет регулирования величины МЭЗ), а устройством для изменения напряжения источника питания (например, с помощью тиристорного блока или автотрансформатора).

Одна из возможных принципиальных схем блока автоматики для практической реализации стабилизирующей функции приведена на рис. 6. Согласно этой схеме текущий электрический сигнал с шунта сопротивлением $R_{ш}$ и заданный сигнал с источника стабилизированного напряжения (ИПС) поступают в блок сравнения (БС), а результирующий сигнал усиливается электронным усилителем (У). В зависимости от полярности этого сигнала

реверсивный электродвигатель (ЭДВ) меняет направление вращения и с помощью специального механизма либо увеличивает, либо уменьшает напряжение специального источника питания (например, на базе автотрансформатора АТР), которое после выпрямления подается на электроды (круг 6 и катод-сепаратор 3).

Таким образом, отличительным признаком предложенного способа является реализация принципа совмещения функций зоны закрепления обрабатываемых пластин, шлифования и электрофизикохимического воздействия на РПК. Это существенно расширяет технологические возможности процесса обработки, т.к. отсутствует катодное устройство, занимающее определенную часть РПК. При этом зоны шлифования и управления постоянно чередуются, как бы взаимно прерывая друг друга.

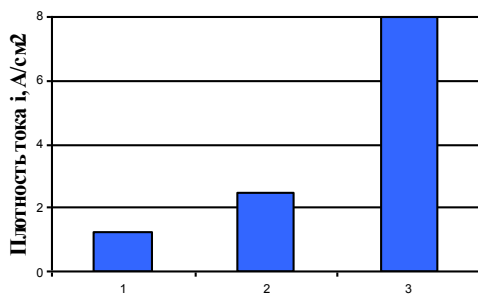
Площадь обрабатываемых изделий может оставаться на протяжении всего периода обработки либо постоянной (например, в случае шлифования торцов пластин), либо переменной, что имеет место при заточке большинства лезвийных инструментов в приспособлениях, например, кассетного типа. В последнем случае по мере снятия припуска увеличивается площадь контакта обрабатываемой заготовки с кругом, а, следовательно, и интенсивность износа последнего. Однако с другой стороны одновременно с этим уменьшается величина зазора Δ , что приводит к увеличению интенсивности электрохимического растворения токопроводящей связки. Это является фактором, препятствующим сглаживанию режущего рельефа круга.

При выборе первоначальной величины вылета заготовок над катодом-сепаратором следует учитывать такие факторы, как физико-механические свойства обрабатываемого материала, а также возможности повышения плотности технологического тока.

Большие площади контакта торцовых кругов с обрабатываемыми изделиями, предопределяющие значительную интенсивность износа их режущего рельефа, требуют поддержания в процессе обработки высоких значений плотностей технологического тока. Это позволило бы постоянно сохранять в процессе шлифования равенство скоростей износа зерен и удаления связки круга. В связи с этим вполне естественно ожидать существенную зависимость плотности тока от интенсивности прокачки электролита через МЭЗ Δ . Сказанное убедительно иллюстрируется данными, приведенными на рисунке 7. Здесь следует отметить, что теоретически способы 2 и 3 должны были дать одинаковые результаты, поскольку электролит в обоих случаях подается во внутреннюю полость круга. Однако технически при втором способе нельзя (в данных условиях) обеспечить подачу такое же количества электролита как в третьем.

Как и следовало ожидать, способ подачи СОТС, основанный на методе сообщающихся сосудов обеспечивает наилучшие результаты по заполнению МЭЗ электролитом. Об этом свидетельствует высокий уровень плотности технологического тока. Это благоприятно отражается и на величине удельного расхода алмазов круга (рис. 8). Интересно отметить, что при использовании третьего способа электроэрозионные пробои МЭЗ не наблюдались в ши-

роком диапазоне напряжений (вплоть до 36 В). Что касается первых двух способов, то для них критическая величина напряжения составила ~ 18 В и это является еще одной причиной более низких значений плотности технологического тока (примерно в три и шесть раз соответственно) которые они обеспечивают по сравнению с третьим способом. В связи с этим комбинированный способ плоского торцового шлифования, в процессе которого электролит подается во внутреннюю полость круга по методу сообщающихся сосудов, имеет, по нашему мнению, существенные перспективы как низкотемпературный процесс обработки.

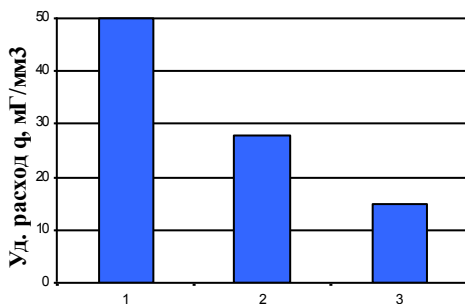


Способ подачи СОТС

Рисунок 7 – Зависимость плотности технологического тока от способа подачи СОТС

Условия обработки: круг (безалмазный) 12A2-45° 150x20x3x32 $\Delta=0,075\text{мм}$.

метод полива ($U=18$ В); 2-специальный сборный круг ($U=18\text{В}$); 3-метод сообщающихся сосудов ($U=33$ В).



Способ подачи СОТС

Рис. 8. Влияние способа подачи СОТС на величину удельного расхода алмазов круга при обработке СКМ-Р. Условия обработки: круг 12A2-45° 150x20x3x32 AC6 125/100 4 M2-01 $V=20$ м/с, $S_{пр}=1$ м/мин, $P_H=2$ МПа, $I=50\text{А}$.

метод полива; 2-специальный сборный круг; 3-метод сообщающихся сосудов

Выводы и перспективы развития. Таким образом, доказано, что возможность обеспечения требуемой степени прокатки СОТС через зоны шлифования и правки круга является важным условием, обеспечивающим предпосылки для расширения технологических возможностей как обычного, так и комбинированного процессов плоского торцового шлифования. В дальнейшем представляет значительный интерес вопрос исследования уровня температур при плоском торцовом шлифовании в сплошном слое СОТС с точки зрения возможности обработки наноматериалов.

Список использованных источников: [1] Маталин А.А. Технология машиностроения / Маталин А.А. - Л.: Машиностроение, 1985. - 496 с. [2] Семко М.Ф. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов / Семко М.Ф., Грабченко А.И., Ходоровский М.Г. - Харьков: Вища школа, 1980. - 192 с. [3] Алмазная обработка технической керамики / [Д.Б. Ваксер, В.А. Иванов, Н.В. Никитков, В.Б. Рабинович]. - Л.: Машиностроение, 1976. - 160с. [4] Иванов В.А. Управление шероховатостью поверхности керамических пластин при алмазном шлифовании / Иванов В.А., Зайцев Г.Н // Резание и инструмент. - 1988. - Вып. 39. С. 79-82. [5] Verfahrensoptimierung beim Umfangs-Planschleifen. <http://www.idr-online.com/german/pages/articles/articles.html>. [6] Зайцев Г. Н. Алмазное шлифование керамики с наложением высокочастотных колебаний на стандартные чашечные круги / Зайцев Г. Н //Алмазы и сверхтвердые материалы. - 1980. - Вып. 3. - С. 13-14. [7] Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей плоского торцового шлифования за счет рациональной подачи электролита в зону управления и обработки / Грабченко А.И., Пыжов И.Н., Култышев С.А. // Сверхтвердые материалы.-1990.-№ 6. -С. 58-61. [8] [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.valve-industry.ru/pdf_site/73/73_Kochanov.pdf. [9] Вероман В.Ю. Электроалмазное шлифование. / В.Ю. Вероман // В сб. Алмазные инструменты в машиностроении. -Л.: Лениздат. -1965.-С. 216-234. [10] Иванов В.А. Управление шероховатостью поверхности керамических пластин при алмазном шлифовании / Иванов В.А., Зайцев Г.Н // Резание и инструмент. - 1988. - Вып. 39. С. 79-82. [11] Новиков Н.В. О выборе электрических и механических параметров процесса алмазно-электролитической обработки твердых сплавов поликристаллическими катодами / Новиков Н.В., Гурвич Р.А. // Современные проблемы механики и физикохимии процессов резания, абразивной обработки и поверхностного пластического деформирования: Материалы Международной научной конференции, 14-16 мая 2002г., г. Киев. - К: АТМ Украины, 2002. - С. 63-65. [12] Либов Л.Я. Исследование условий оптимального применения центрифуги ОТН-800 для очистки электролита / Либов Л.Я., Мороз И.И., Влазнев Е.И. // Электрофизические и электрохимические методы обработки. - М.: НИИМАШ, 1971. - Вып.3. - С. 3-8. [13] Размерная электрическая обработка металлов: Учебное пособие для студентов вузов / [Б.А. Артамонов, А.Л. Вишницкий, Ю.С. Волков, А.В. Глазков]. Под ред. А.В. Глазкова. - М.: Высш. школа, 1978. -336с. [14] Патент 2228832 Российская Федерация, МПК 7 В 24 D 7/10, В 24 В 55/02. Абразивный инструмент для плоского шлифования / [Свитковский Ф.Ю., Иванова Т.Н., Балакин В.В., Люпа С.И.]. - 200212597/02; заявл. 27.09.2002; опубл. 20.05.2004. Бюл. №14. [15] Худобин Л.В. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке / Л.В. Худобин, Е.Г. Бердичевский.-М.: Машиностроение.- 1977. -189 с. [16] Барбашин Е.А. Введение в теорию устойчивости / Барбашин Е.А. - М.: Наука, 1967. - 223 с.

Поступила в редколлегию 15.05.2012